

JP 2002-255524

METHOD AND APPARATUS FOR PRODUCING CARBONACEOUS MATERIAL

Patent number: JP2002255524
 Publication date: 2002-09-11
 Inventor: KAJIURA HISASHI; TSUTSUI EIKO; MIYAKOSHI TERUBUMI; HIRANO HIDETAKA
 Applicant: SONY CORP
 Classification:
 - international: C01B31/02; D01F9/127; C01B31/00; D01F9/12; (IPC1-7): B01D53/22; B01D69/04; B01D71/02; C01B31/02; B01J19/08; B01J31/12; B82B3/00
 - european: C01B31/02B; D01F9/127; Y01N6/00
 Application number: JP20010056330 20010301
 Priority number(s): JP20010056330 20010301

Also published as:

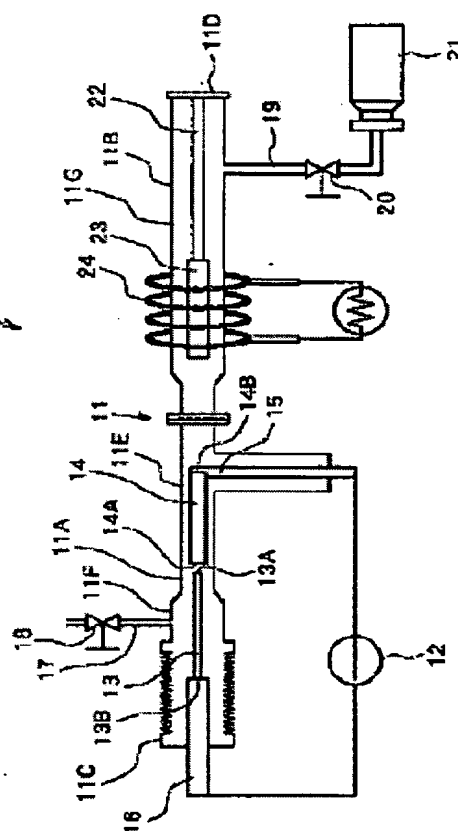


WO02070405 (A1)
 US6794599 (B2)
 US2004062992 (A1)
 CN1492837 (A)
 CN1212969C (C)

Report a data error here

Abstract of JP2002255524

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and an apparatus for producing a carbonaceous material to be able to generate efficiently single-layered carbon nanotube with high purity. **SOLUTION:** The apparatus 1 for producing the carbonaceous material is equipped with a tube reactor 11 and a gas feeding part. An anode 13 and a cathode 14 composing an arc discharge part and a catcher 23 to catch the generated carbonaceous material are set in the tube reactor 11. An RF heater 24 is set at the position where the catcher 23 is set and at the periphery of the tube reactor 11. On the method for producing the carbonaceous material, the carbonaceous material generated at the arc discharge part is transferred to the catcher 23 by a gas fed from the gas feeding part to the tube reactor 11 and heat-treated by the RF heater 24 without being exposed with atmospheric air in the catcher 23. The removal of impurities and the growth of the single-layered carbon nanotube are accelerated.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)	
C 0 1 B 31/02	1 0 1	C 0 1 B 31/02	1 0 1 F	4 D 0 0 6
			1 0 1 Z	4 G 0 4 6
B 0 1 J 19/08		B 0 1 J 19/08	G	4 G 0 6 9
31/12		31/12	M	4 G 0 7 5
B 8 2 B 3/00		B 8 2 B 3/00		
審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 14 頁) 最終頁に続く				

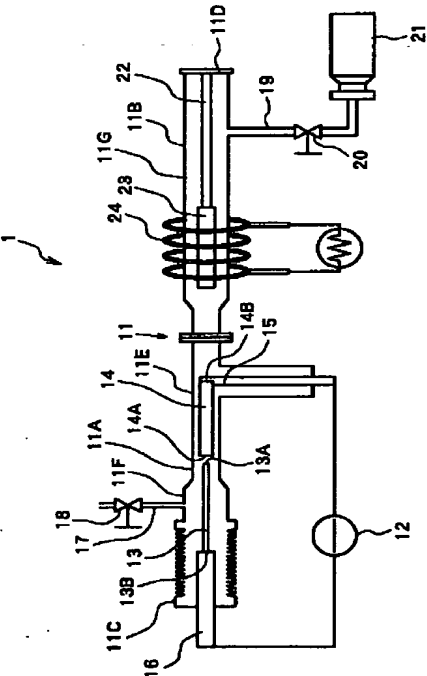
(21)出願番号	特願2001-56330(P2001-56330)	(71)出願人	000002185 ソニー株式会社 東京都品川区北品川6丁目7番35号
(22)出願日	平成13年3月1日(2001.3.1)	(72)発明者	梶浦 尚志 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ ー株式会社内
		(72)発明者	筒井 栄光 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ ー株式会社内
		(74)代理人	100094983 弁理士 北澤 一浩 (外2名)
		最終頁に続く	

(54)【発明の名称】 炭素質材料の製造方法及び製造装置

(57)【要約】

【課題】 純度の高い単層カーボンナノチューブを高効率で得ることができる炭素質材料の製造方法及び製造装置の提供。

【解決手段】 炭素質材料の製造装置1は、反応管11、ガス供給部を有する。反応管11内にはアーク放電部を規定するアノード13、カソード14が設けられ、生成された炭素質材料を捕獲する捕獲器23が設けられている。反応管11の外周であって捕獲器23が設けられている位置にはRFヒーター24が設けられている。炭素質材料の製造方法では、アーク放電部で生成された炭素質材料は、ガス供給部から反応管11内に供給されたガスによって捕獲器23へ搬送され、捕獲器23において大気に曝されない状態でRFヒーター24により加熱処理され、不純物の除去、単層カーボンナノチューブの成長促進がなされる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 炭素質材料生成室を画成する反応管内に炭素系材料で構成されたアノードと、該アノードに対向し該アノードとの間でアーク放電部を規定する炭素系材料で構成されたカソードとを配置し、

該アーク放電部は雰囲気ガスにさらされながら、該アノード及びカソード間に電圧を供給してアーク放電がなされ、該アーク放電部で炭素質材料が生成され、

該雰囲気ガスは該アーク放電部を通過可能な該反応管内の所定方向に流される炭素質材料の製造方法において、該雰囲気ガスの流れ方向において該アーク放電部の下流側の炭素質材料捕獲器で、該炭素質材料捕獲器を加熱しながら生成された炭素質材料を回収することを特徴とする炭素質材料の製造方法。

【請求項2】 該雰囲気ガスは触媒ガスであることを特徴とする請求項1記載の炭素質材料の製造方法。

【請求項3】 該アノードは、触媒を含有しない炭素系材料で構成されていることを特徴とする請求項2記載の炭素質材料の製造方法。

【請求項4】 該雰囲気ガスは、有機ガスと触媒ガスとの混合ガスであることを特徴とする請求項1記載の炭素質材料の製造方法。

【請求項5】 該アノードは、触媒を含有しない炭素系材料で構成されていることを特徴とする請求項4記載の炭素質材料の製造方法。

【請求項6】 該雰囲気ガスは、有機ガスであることを特徴とする請求項1記載の炭素質材料の製造方法。

【請求項7】 該炭素質材料捕獲器の加熱を減圧下で行うことを特徴とする請求項1記載の炭素質材料の製造方法。

【請求項8】 アーク放電と該炭素質材料捕獲器の加熱とを同時に行うことを特徴とする請求項1記載の炭素質材料の製造方法。

【請求項9】 アーク放電の際に該雰囲気ガスは、該アーク放電部の周囲であって該アノードと該カソードとを結ぶ方向に進む螺旋流にて流されることを特徴とする請求項1記載の炭素質材料の製造方法。

【請求項10】 複数の種類の異なる該雰囲気ガスを、それぞれ別個に独立して該反応管内に供給し、該反応管内で混合させて混合ガスの螺旋流としたことを特徴とする請求項9に記載の製造方法。

【請求項11】 炭素質材料生成室を画成する反応管と、
該反応管内に配置された炭素系材料で構成されたアノードと、
該反応管内に該アノードと対向して設けられ、該アノードとの間でアーク放電部を規定する炭素系材料で構成されたカソードと、
該アノード及びカソード間にアーク放電を発生させるために、該アノード及び該カソードに接続された電流供給

部とを備え、

該反応管には該アーク放電部に向って雰囲気ガスを供給し所定方向に雰囲気ガスを流すための雰囲気ガス供給部が連通して接続され、

該反応管内であって雰囲気ガスの流れ方向において該アーク放電部の下流側には、炭素質材料捕獲器が設けられた炭素質材料の製造装置において、
該炭素質材料捕獲器の内部又は外部には、該炭素質材料捕獲器を加熱するための加熱器が設けられていることを特徴とする炭素質材料の製造装置。

【請求項12】 該反応管の内径は、雰囲気ガスの流れを一方向のみに限定し、該反応管内の雰囲気ガスの対流を防止できる程度に小さく構成されていることを特徴とする請求項11記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項13】 該雰囲気ガスは、有機ガスと触媒ガスとの混合ガスであることを特徴とする請求項11記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項14】 該アノードは、触媒を含有しない炭素系材料で構成されていることを特徴とする請求項13記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項15】 該雰囲気ガスは触媒ガスであることを特徴とする請求項11記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項16】 該アノードは、触媒を含有しない炭素系材料で構成されていることを特徴とする請求項15記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項17】 該雰囲気ガスは、有機ガスであることを特徴とする請求項11記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項18】 該反応管は断面が略円形であり、
該雰囲気ガス供給部は、該アーク放電部でのアーク放電により生成された炭素質素材を捕獲器方向に搬送するために、該反応管に接続されて該アーク放電部の上流側から該アーク放電部に向ってガスを供給するガス供給管を有し、

該ガス供給管は、該反応管の略接線方向に延びて設けられ、該反応管内で螺旋流を生成することを特徴とする請求項11記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項19】 該ガス供給管は、該反応管の略接線方向に連通接続され第1のガスを該反応管内に供給する第1管と、該第1管とは別の位置に該反応管の略接線方向に連通接続され第2のガスを該反応管内に供給する第2管との少なくとも2本で構成されることを特徴とする請求項18記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項20】 該第1のガスを該第1管内において第1の速度で流すための第1フローメータが該第1管に接続され、該第2のガスを第2の管内において第1の速度とは異なる第2の速度で流すための第2のフローメータが該第2管に接続されていることを特徴とする請求項19記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項21】 該第1のガスは、有機ガスであることを特徴とする請求項19記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項22】 該第2のガスは、触媒ガスであることを特徴とする請求項19記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項23】 該ガス供給管は、該アーク放電部から該捕獲器へと向かう方向に対して鋭角に延びて該反応管に接続されていることを特徴とする請求項18に記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項24】 該反応管内に、該反応管よりも径の小さい内管が該反応管と同軸的に配置され、該内管は、少なくとも該ガス供給管が接続されている位置に設けられていることを特徴とする請求項18記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項25】 該反応管のアーク放電部周囲の内周面断面積が、他の部位の内周断面積よりも小さい縮径部にて構成されていることを特徴とする請求項11記載の炭素質材料の製造装置。

【請求項26】 該縮径部は該捕獲器の直前まで延び、該捕獲器の直前にて該反応管が拡張して構成されていることを特徴とする請求項25記載の炭素質材料の製造装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は炭素質材料の製造方法及び製造装置に関し、特にアーク放電を利用して単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料を製造する炭素質材料の製造方法及び製造装置に関する。

【0002】

【従来の技術】カーボンナノチューブは、1991年に、S. Iijima, Nature, Vol. 354 (1991) 56で飯島により初めて報告された新しい材料である。特に、単層カーボンナノチューブ(SWNT)は、螺旋の巻き方、いわゆるカイラリティ(chirality)により、電子物性が金属的性質から半導体的性質まで変化することが理論的に分かっており、次世代の電子材料として有望視され、ナノエレクトロニクス材、電界電子放出エミッタ、高指向性放射源、軟X線源、一次元伝導材、高熱伝導材、水素貯蔵材等への応用が考えられている。又、表面の官能基化、金属被覆、異物質内包により、カーボンナノチューブの応用範囲は更に広がると思われる。

【0003】単層カーボンナノチューブをはじめとする炭素質材料を製造する方法としては、炭素棒を電極としアーク放電を利用した、いわゆるアーク放電法により大量合成する方法が従来より提案されている。この方法では、対向配置されたアノードとカソードとからなるアーク放電部においてアーク放電を発生させることによって炭素質材料が生成される。

【0004】アーク放電法を行う炭素質材料の製造装置の一例を図7に示す。製造装置101には筒状の反応管111が設けられており、反応管111の内部には、アノード113とカソード114とが僅かな隙間を隔てて

対向配置されている。アノード113は正極側の電流導入端子142に電氣的に接続されており、カソード114は負極側の電流導入端子141に電氣的に接続されている。これら2つの電流導入端子141、142は、反応管111の外部に設けられた電流供給部112に電氣的に接続されており、アノード113、カソード114に電圧を印加可能に構成されている。アノード113とカソード114とが互いに対向する先端間でアーク放電部が規定される。アーク放電部は、反応管111の軸方向の略中央に位置しており、アーク放電部に対応する位置であって反応管111の外側には、アーク放電部を加熱するための電気炉124が設けられている。

【0005】アノード113は、鉄、コバルト、ニッケル、ランタン等の触媒をなす金属を添加したカーボンからなる炭素電極である。触媒は、アーク放電によって単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料を製造する際に用いられる。カソード114は、触媒を含まない純粋炭素電極である。

【0006】反応管111の両端には、反応管111の端部を覆う蓋体111C、111Dがそれぞれ設けられており、反応管111内を大気から遮断可能に構成されている。蓋体111Cには、反応管111の軸方向に貫通し反応管111内部と外部とを連通する貫通孔111aが形成されており、この貫通孔111aには、不活性ガス注入器143がホース117を介して接続されている。不活性ガス注入器143は、HeやAr等の不活性ガスを反応管111内部に供給可能に構成されている。また、ホース117の一部には、フローメータ118が設けられており、反応管111内部に注入される不活性ガスの流速を可変としている。

【0007】蓋体111Dの周面には、蓋体111Dの周面から半径方向に貫通し反応管111内部と外部とを連通する貫通孔111bが形成されている。貫通孔111bには、ポンプ121がホース119を介して接続されている。ポンプ121は、反応管111内部に存在する気体を負圧にて反応管111外部に排出可能に構成されている。又、ホース119の一部には、フローメータ120が設けられており、反応管111内部から排出される不活性ガス等の流速を可変としている。

【0008】又、蓋体111Dには、反応管111の軸方向に貫通する貫通孔111cが形成されており、貫通孔111cには二重管122が貫通した状態で設けられている。従って、二重管122の一部は、反応管111内部に位置している。二重管122の一端であって二重管122内に位置している側の端部には、アーク放電部で生成された炭素質材料を捕獲するための捕獲器123が設けられている。捕獲器123の内部は、二重管122の外管の内周と内管の外周とで画成される空間に連通する空間と、二重管122の内管の内周により画成される空間に連通する空間とが形成されている。これら2の

空間は互いに連通している。この構成により、二重管122の端部であって捕獲器123が設けられていない側から、内管の内周により画成させる空間に冷却水が注入されると、冷却水は、内管の内周により画成される空間を通過して捕獲器123内に到達し、捕獲器123を冷却し、二重管122の外管の内周と内管の外周とで画成される空間へ流込み、二重管122の他端から排出されるように構成される。

【0009】次に、単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料を製造する方法について説明する。アノード113は、カーボンを粉状に粉砕し、粉状のカーボンに鉄、ニッケル、コバルト、ランタン等の触媒の粉体を混ぜたものを、アノード113の形状に成形し、更に、焼成、加工することによって製造される。カソード114は、カーボンがそのままカソード114の形状に成形されることにより製造される。次に、アノード113とカソード114とを、炭素質材料の製造装置101にセットし、一旦、反応管111内部を真空にする。その後、不活性ガス注入器143によって不活性ガスを反応管111内部に供給しポンプ121によって反応管111の内の不活性ガスを排出している状態下、即ち、アーク放電部にガス流が流れている状態下でアーク放電を行い、アーク放電部においてアノード113を構成するカーボンを材料として触媒の触媒作用により単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料が生成される。より詳細には、アーク放電部では、アノード113から金属と炭素とが同時に蒸発し、蒸発した炭素は煤として出現する。得られた煤には、単層カーボンナノチューブの他、黒鉛、アモルファスカーボン、触媒金属、触媒金属の酸化物などが混在している。アーク反応部で生成された単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料を含む煤は、供給された不活性ガスの流れにより、下流側に設けられた捕獲器123へと搬送される。

【0010】上述のようなアーク放電法を用いて得られる単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料の回収率を高めるために、さまざまな技術が開示されている。

【0011】特開平6-157016号公報、特開平6-280116号公報によれば、アーク放電法における単層カーボンナノチューブの回収率は、単層カーボンナノチューブの生成される反応管内のガス分圧に大きく依存していることが認められている。特開平6-280116号公報によれば、反応管内の不活性ガスの圧力範囲を200 Torr (約26.7 kPa) 以上とすることにより、単層カーボンナノチューブの回収率を高めることができる旨が記載されており、又、特開平6-157016号公報には、反応管内の不活性ガスの分圧が500~2500 Torr (約66.7~333.3 kPa) の範囲内のときに、単層カーボンナノチューブの回収率を最適化することができる旨が記載されている。また、特開平6-157016号公報には、アーク放電部

の温度を1000~4000℃とすることにより、単層カーボンナノチューブの回収率を高めることができる旨が記載されている。

【0012】アーク放電法により単層カーボンナノチューブを生成すると、炭素質材料は反応管111の壁面に、煤状の生成物あるいはWeb状の生成物となって付着するが、単層カーボンナノチューブは、Web状の生成物中に特に多く含まれる。煤状の生成物は、主にアモルファス状カーボンから成るといわれている。そこで、単層カーボンナノチューブの含有量の高い生成物を得て回収率を高めるためには、Web状の生成物を効率よく回収する必要がある。

【0013】特開平8-12310号公報には、アーク放電法により生成された煤を含むWeb状生成物を、効率よく回収する方法が記載されている。この方法では、反応管内の壁面から煤を含むWeb状生成物を回収した後、酸性溶液や熱酸化処理による生成物の精製処理を行って、ある程度高純度の単層カーボンナノチューブを得ている。

【0014】また、T. Sugai et al., Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, (2000) L477, T. Sugai et al., J. Chem. Phys., Vol. 112, (2000) 6000では、電気炉内でアーク放電を行い、高回収率で単層カーボンナノチューブを生成する方法が報告されている。これらの報告書では、電子顕微鏡やラマン分光器で単層カーボンナノチューブを評価しており、反応管内でアーク放電を行った場合と比較して、単層カーボンナノチューブをより効率的に得ていることが確認されている。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】しかし、特開平6-157016号公報、特開平6-280116号公報記載の炭素質材料の製造方法では、得られた煤等の炭素質材料について精製処理を行わないため、得られたサンプル中には、金属触媒やアモルファス状カーボンが、依然として相当量含まれている。従って、単層カーボンナノチューブの純度を高めるには、得られた炭素質材料に対して精製処理を行うことが必須であると考えられる。特開平8-12310号公報に記載されている炭素質材料の製造方法では、得られた炭素質材料について精製処理を行っているが、精製処理は、得られた炭素質材料が反応管内から一旦取出され大気に曝された後に行われる。金属触媒は微粒子であるため、このように大気に曝されるとすぐに表面が酸化してしまい、一度酸化してしまうと金属触媒の除去が困難となり、触媒等をほとんど含まない純度の高い単層カーボンナノチューブを得ることは困難であった。

【0016】そこで本発明は、純度の高い単層カーボンナノチューブを高効率で得ることができる炭素質材料の

製造方法及び製造装置を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明は、炭素質材料生成室を画成する反応管内に炭素系材料で構成されたアノードと、該アノードに対向し該アノードとの間でアーク放電部を規定する炭素系材料で構成されたカソードとを配置し、該アーク放電部は雰囲気ガスにさらされながら、該アノード及びカソード間に電圧を供給してアーク放電がなされ、該アーク放電部で炭素質材料が生成され、該雰囲気ガスは該アーク放電部を通過可能な該反応管内の所定方向に流される炭素質材料の製造方法において、該雰囲気ガスの流れ方向において該アーク放電部の下流側の炭素質材料捕獲器で、該炭素質材料捕獲器を加熱しながら生成された炭素質材料を回収する炭素質材料の製造方法を提供している。

【0018】ここで、該雰囲気ガスは触媒ガスであることが好ましい。

【0019】又、該アノードは、触媒を含有しない炭素系材料で構成されていることが好ましい。

【0020】又、該雰囲気ガスは、有機ガスと触媒ガスとの混合ガスであることが好ましい。

【0021】又、該アノードは、触媒を含有しない炭素系材料で構成されていることが好ましい。

【0022】又、該雰囲気ガスは、有機ガスであることが好ましい。

【0023】又、該炭素質材料捕獲器の加熱を減圧下で行うことが好ましい。

【0024】又、アーク放電と該炭素質材料捕獲器の加熱とを同時に行うことが好ましい。

【0025】又、アーク放電の際に該雰囲気ガスは、該アーク放電部の周囲であって該アノードと該カソードとを結ぶ方向に進む螺旋流にて流されることが好ましい。

【0026】又、複数の種類の異なる該雰囲気ガスを、それぞれ別個に独立して該反応管内に供給し、該反応管内で混合させて混合ガスの螺旋流とすることが好ましい。

【0027】本発明は、更に、炭素質材料生成室を画成する反応管と、該反応管内に配置された炭素系材料で構成されたアノードと、該反応管内に該アノードと対向して設けられ、該アノードとの間でアーク放電部を規定する炭素系材料で構成されたカソードと、該アノード及びカソード間にアーク放電を発生させるために、該アノード及び該カソードに接続された電流供給部とを備え、該反応管には該アーク放電部に向って雰囲気ガスを供給し所定方向に雰囲気ガスを流すための雰囲気ガス供給部が連通して接続され、該反応管内であって雰囲気ガスの流れ方向において該アーク放電部の下流側には、炭素質材料捕獲器が設けられた炭素質材料の製造装置において、該炭素質材料捕獲器の内部又は外部には、該炭素質材料捕獲器を加熱するための加熱器が設けられている炭素質

材料の製造装置を提供している。

【0028】ここで、該反応管の内径は、雰囲気ガスの流れを一方向のみに限定し、該反応管内の雰囲気ガスの対流を防止できる程度に小さく構成されていることが好ましい。

【0029】又、該雰囲気ガスは、有機ガスと触媒ガスとの混合ガスであることが好ましい。

【0030】又、該アノードは、触媒を含有しない炭素系材料で構成されていることが好ましい。

【0031】又、該雰囲気ガスは触媒ガスであることが好ましい。

【0032】又、該アノードは、触媒を含有しない炭素系材料で構成されていることが好ましい。

【0033】又、該雰囲気ガスは、有機ガスであることが好ましい。

【0034】又、該反応管は断面が略円形であり、該雰囲気ガス供給部は、該アーク放電部でのアーク放電により生成された炭素質素材を捕獲器方向に搬送するために、該反応管に接続されて該アーク放電部の上流側から該アーク放電部に向ってガスを供給するガス供給管を有し、該ガス供給管は、該反応管の略接線方向に延びて設けられ、該反応管内で螺旋流を生成することが好ましい。

【0035】又、該ガス供給管は、該反応管の略接線方向に連通接続され第1のガスを該反応管内に供給する第1管と、該第1管とは別の位置に該反応管の略接線方向に連通接続され第2のガスを該反応管内に供給する第2管との少なくとも2本で構成されることが好ましい。

【0036】又、該第1のガスを該第1管内において第1の速度で流すための第1フローメータが該第1管に接続され、該第2のガスを第2の管内において第1の速度とは異なる第2の速度で流すための第2のフローメータが該第2管に接続されていることが好ましい。

【0037】又、該第1のガスは、有機ガスであることが好ましい。

【0038】又、該第2のガスは、触媒ガスであることが好ましい。

【0039】又、該ガス供給管は、該アーク放電部から該捕獲器へと向かう方向に対して鋭角に延びて該反応管に接続されていることが好ましい。

【0040】又、該反応管内に、該反応管よりも径の小さい内管が該反応管と同軸的に配置され、該内管は、少なくとも該ガス供給管が接続されている位置に設けられていることが好ましい。

【0041】又、該反応管のアーク放電部周囲の内周面断面積が、他の部位の内周断面積よりも小さい縮径部に構成されていることが好ましい。

【0042】又、該縮径部は該捕獲器の直前まで延び、該捕獲器の直前にて該反応管が拡径して構成されていることが好ましい。

【0043】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態による炭素質材料の製造方法及び製造装置について図1乃至図3に基づき説明する。

【0044】炭素質材料の製造装置1は、主として単層カーボンナノチューブを製造する。図1に示されるように、炭素質材料の製造装置1は、略筒状の反応管11及び電流供給部12を有し、反応管11は、略筒状をした左側反応管11Aと右側反応管11Bとの2つの部分から構成されている。従って、反応管11は、左側反応管11Aと右側反応管11Bとに分離可能に構成されており、後述の捕獲器23から単層カーボンナノチューブを取出しやすい構造となっている。反応管11は石英からなり、耐熱性に優れ、化学的に安定な性質を持つ。

【0045】左側反応管11Aの内部には、棒状のアノード13とカソード14とが設けられている。アノード13及びカソード14は、純粋なカーボンにより構成されている。アノード13、カソード14の直径は、それぞれ10mm、15mmである。アノード13とカソード14とは同一線上に配置されており、アノード13の一端13Aとカソード14の一端14Aとは、僅かな隙間を隔てて対向配置されている。アノード13の他端13Bは、電流供給部12の正極に電氣的に接続されており、カソード14の他端14Bは、電流供給部12の負極に電氣的に接続されており、アノード13、カソード14に電流を供給することによって、アノード13の一端13Aとカソード14の一端14Aとの間にアーク放電を発生可能に構成されている。図示せぬ切換スイッチにより、電極の極性を逆にすることもできるように構成されており、アノード13の位置とカソード14の位置とを逆にしてアーク放電を発生させることもできるように構成されている。アノード13とカソード14とが互いに対向する先端間でアーク放電部が規定される。アーク放電部は、左側反応管11Aの軸方向の略中央に位置している。

【0046】アノード13は、単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料の製造する際に炭素質材料の原料として用いられるため消耗する。この消耗により、アノード13とカソード14との間の隙間が広がることによりアーク放電が生じなくなってしまうことを防止するため、アノード13とカソード14との間の隙間は、常に一定に保たれるように構成されている。即ち、アノード13の他端13Bは、直線運動導入機構16によって支持されており、アノード13をアノード13の長手方向に移動可能としている。カソード14の他端14Bは、カソード14を移動不能に支持する支持部材15によって支持されている。

【0047】反応管11の両端は、反応管11の端部を覆う蓋体11C、11Dがそれぞれ設けられており、反応管11内を大気から遮断する。反応管11の両端は円

形をしているため、反応管11の両端を覆う蓋体11C、11Dの形状も円形をしている。反応管11の一部であって、蓋体11Cからアーク放電部の方へ少し寄った位置には、ガスを反応管内に供給するための供給管17が設けられており、供給管17の内部は反応管11の内部に連通している。

【0048】供給管17は、図2に示されるように、左側反応管11Aの周面の接線方向に延出して設けられている。従って、左側反応管11A内に供給されるガスも、反応管11の接線方向から供給される。このため、供給されたガスは、図2に矢印で示されるように、反応管11内で螺旋流となり、螺旋流のままアーク放電部に供給されるように構成されている。

【0049】供給管17の一部には、流量制御手段たる供給管フローメータ18（図1）が設けられており、反応管11と接続されている供給管17の一端に対する他端には、図示せぬガス供給部が設けられている。図示せぬガス供給部は、不活性ガス、又は触媒ガスと有機ガスとの混合ガスを選択的に供給可能に構成されている。触媒ガスとしては、具体的には昇華した状態のフェロセンが使用される。不活性ガスとしては、ヘリウムガスが使用される。有機ガスは、アノードをなすカーボンと共に、生成される単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料の原料をなし、メタンガス単体が使用される。供給管フローメータ18は、供給管17内を流れ反応管11内に供給される混合ガスの流速を調節可能に構成されている。反応管11内のガスの最大流量は5L/minである。

【0050】左側反応管11A内のアーク放電部に、生成される炭素質材料の原料たる有機ガスが供給されるため、アノードが炭素質材料の原料として用いられる比率が低くなり、アノードの消耗を大幅に減じることができる。又、反応管11内のアーク放電部に触媒ガスが供給されるため、触媒とカーボンと混合してアノードを構成する必要がなくなり、アノード製造の手間とコストとを低減することができ、単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料を安価で容易に製造することができる。

【0051】又、螺旋流のままアーク放電部にガスが供給されるため、アーク放電部において触媒ガスや有機ガスが均一に供給され、均一な放電を得ることができ、安定した質の炭素質材料の生成を確保することができる。

【0052】右側反応管11Bの一部であって蓋体11Dからアーク放電部の方へ少し寄った位置には、反応管内からガスを排出するための排出管19が設けられており、排出管19の内部は反応管11の内部に連通している。排出管19の一部には、排出管フローメータ20が設けられており、反応管11と接続されている排出管19の一端に対する他端には、ポンプ21が設けられている。ポンプ21は、負圧によって反応管11内部のガスを吸引することによって、反応管11内部のガスを反応

管11内部から排出可能に構成されている。排出管フローメータ20は、ポンプ21による吸引力を調節可能に構成されている。

【0053】円形をした蓋体11Dの中央には、反応管11の軸方向、即ち、アーク放電部に向かって延出する棒状の捕獲器支持部材22が設けられている。蓋体11Dと接続されている捕獲器支持部材22の一端に対する他端には、アーク放電部で生成された単層カーボンナノチューブ等を含む炭素質材料を捕獲するための捕獲器23が設けられている。捕獲器23は、黒鉛ロッドからなり、円柱形状をし、その長手方向の一端が捕獲器支持部材22に接続されている。捕獲器23は、右側反応管11B内部であって右側反応管11Bの軸方向の略中央からアーク放電部寄りの所定の位置までの部分に位置している。この位置は、供給管17から供給されるガスの流れに着目すれば、アーク放電部よりも下流側であり、これに対して供給管17の設けられている位置は、アーク放電部よりも上流側である。アーク放電部で生成される炭素質材料には、Web状サンプル、アモルファス状カーボン、黒鉛、触媒が含まれるが、この順に密度が大きくなる。この密度の違いに着目し、ガスの流量を適当な値とすることにより、下流側に設けられた捕獲器23でWeb状サンプルのみを選択的に得ることができるように構成されている。捕獲器23に捕獲された単層カーボンナノチューブを取出す際には、左側反応管11Aと右側反応管11Bとを分割して取り出すことができるように構成されている。

【0054】右側反応管11B内部の捕獲器23に捕獲された炭素質材料を加熱するために、捕獲器23が設けられている位置に対して、右側反応管11Bの外周を巻回するようにRFヒーター24が設けられている。捕獲された炭素質材料を、捕獲器23に捕獲されたままの状態、RFヒーター24により加熱することができるため、得られた炭素質材料を大気に曝すことなく精製処理することができる。このため、触媒に含まれるFe等の不純物を酸化することなく除去することことができ、且つ、結晶性の悪い単層カーボンナノチューブを再配列し結晶性の良い単層カーボンナノチューブとすることができ、炭素質材料中の単層カーボンナノチューブの比率を、効率よく高めることができる。

【0055】反応管11の径は、図1及び図3に示されるように、全ての部分において均一となつてはならず、部分的に径の小さい縮径部11Eを有している。即ち、反応管11の左端部からアーク放電部に向かって供給管17の設けられている位置を過ぎた辺りまでは、径の大きい大径部11Fが同一径で続いているが、この位置から、径の小さな縮径部11Eとなりアーク放電部に至り、ガスの流れ方向下流側の捕獲器23が設けられている直前まで縮径部11Eは続く。縮径部11Eとなっている部分はその区間内で同一径である。捕獲器23の直

前から再び反応管11の左端部と同一の大径部11Gとなり、排出管19の設けられている位置を過ぎて反応管11の右端部へと至る。この大径部11Gも区間内では同一径である。縮径部11Eの径は、30mmであり、大径部11F、11Gの径は50mmである。このように、大径部11F、11G、縮径部11Eは、反応管内の雰囲気ガスの対流を防止できる程度に小さく構成されている。

【0056】又、アーク放電部の位置において反応管11の径が細い縮径部11Eとなっており、縮径部11Eの断面積が、供給管17の設けられている大径部11Fの断面積よりも小さいため、原料ガスたる有機ガスを図3の矢印に示されるように、効率的にアーク放電部に収束させることができ、安定した原料ガスの供給を行うことができる。このため、アーク放電部で有機ガスが希薄になることを防ぐことができ、安定した放電が可能となり、安定して炭素質材料を生成することができる。

【0057】又、アーク放電部を過ぎて捕獲器23の直前まで縮径部11Eとなっているため、反応管11内を流れるガス流速を高めることができ、アーク放電部と捕獲器23との間の反応管11の内周面部分に、生成した炭素質材料が付着してしまうのを極力防ぐことができ、効率よく捕獲器23にて炭素質材料を捕獲することができる。

【0058】又、捕獲器23の直前の位置において大径部11Gとなっており、捕獲器23の周囲を流れるガスの流速を低下させることができるため、生成した炭素質材料が捕獲器23に捕獲されずに通過してしまうのを極力防ぐことができる。

【0059】次に、単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料の製造方法について説明する。炭素質材料の製造に先立ち、先ず、アノード13が製造される。即ち、カーボン塊を棒状に削り、アノード13、カソード14のそれぞれの形状とする。

【0060】次に、アノード13、カソード14を直線運動導入機構16、支持部材15にそれぞれセットし、一旦、反応管11内を 10^{-1} Pa以下に真空引きする。そして、反応管11内部に、図示せぬガス供給部から供給管を介して不活性ガスを供給し、反応管11内を約66.7kPa(500Torr)にする。その後、不活性ガスの供給を止め、アーク放電部においてアーク放電を発生させ、図示せぬガス供給部から触媒ガスと有機ガスとの混合ガスを供給し、これと同時に、ポンプ21を動作させて反応管11内のガスを排出し、反応管11内にガスの流れを生じさせる。混合ガス中の触媒ガスの比率は、触媒ガスが50wt%である。この間、反応管11内の気圧は約66.7kPaに保たれ、アーク放電を行う時間は30分間である。このときガスは、供給管17から左側反応管11Aの内周面接線方向に供給されるため、反応管11内部、特にアーク放電部において

螺旋流となっている。又、アーク放電部の位置においては反応管11の径が小さい縮径部11Eとなっているため、原料ガスたる有機ガスと触媒ガスとの混合ガスを効率的にアーク放電部に収束させている。この状態で、単層カーボンナノチューブ等を含む炭素質材料がアーク放電部において生成され、有機ガスと触媒ガスとの混合ガスの流れによって捕獲器23へと搬送される。

【0061】アーク放電が終了した後に、反応管11内を 10^{-1} Pa以下に真空引きし、この状態で、捕獲器23によって捕獲された炭素質材料を、RFヒーター24によって加熱する。加熱温度、時間は、 1100°C で30分間である。以上の製造工程によって、純度の高い単層カーボンナノチューブが、高効率で製造される。

【0062】次に、本発明による炭素質材料の製造方法及び製造装置について実験を行った。実験は、本発明による炭素質材料の製造方法及び製造装置により製造された炭素質材料である本発明1～6と、比較例により製造された炭素質材料である比較例1、2とを比較することにより行った。

【0063】本発明1は、本実施の形態による炭素質材料の製造方法及び製造装置とほぼ同一の条件により製造されており、次の条件のみが異なっている。アノードを直径6 mm、金属粉末と炭素とからなり組成がNi = 4.2%、Y = 1.0%、C = 94.8%であるコンボジットロッドとした。又、アーク放電を発生する前に、チャンバー内を 10^{-1} Pa以下に真空引きした後にHeガスを導入して反応管11内の気圧を66.7 kPaとした。この気圧を維持した状態で、Heガスを毎分5 Lの流速で反応管11内をフローさせた。この状態で、アノード13、カソード14の両電極間に150 Aの直流電流を加えアークを2分間発生させた。電極間の距離は、電極間の電位差が45～50 Vになるように保持した。

【0064】従って、本発明1でも本発明の実施の形態と同様に、アーク放電が終了した後、チャンバー内を 10^{-1} Pa以下に保持し、RFヒーター24からの高周波により捕獲器23を 1100°C まで昇温し、30分間保持した。

【0065】本発明2は、反応管11内を流れるHeガスの流速を毎分0.5 Lにした点を除き、本発明1を製造した条件と同一の条件により製造された。本発明3は、電極間に200 Aの直流電流を加えた点を除き、本発明1を製造した条件と同一の条件により製造された。本発明4は、アーク放電が終了した後に、真空引きせずにHeガスの圧力を反応管内で66.7 kPaとしたままで、RFヒーター24からの高周波により捕獲器23を 1100°C まで昇温し30分間保持した点を除き、本発明1を製造した条件と同一の条件により製造された。

【0066】本発明5は、アノード電極を、金属粉末と炭素とからなり組成がCo = 1.2%、Ni = 1.2

%、C = 97.6%であるコンボジットロッドとした点以外は、本発明1を製造した条件と同一の条件により製造された。本発明6は、アノード電極を、金属粉末と炭素とからなり組成がCo = 1.2%、Ni = 1.2%、C = 97.6%であるコンボジットロッドとし、アーク放電が終了した後に、真空引きせずにHeガスの圧力を反応管内で66.7 kPaとしたままで、RFヒーター24からの高周波により捕獲器23を 1100°C まで昇温し30分間保持した点を除き、本発明1を製造した条件と同一の条件により製造された。

【0067】比較例1は、捕獲器23上に堆積した炭素質材料を、加熱処理を行わずに回収した点を除き、本発明1を製造した条件と同一の条件により製造された。比較例2は、アノード電極を、金属粉末と炭素とからなり組成がCo = 1.2%、Ni = 1.2%、C = 97.6%であるコンボジットロッドとし、捕獲器23上に堆積した炭素質材料を、熱処理を行わずに回収した点を除き、本発明1を製造した条件と同一の条件により製造された。

【0068】本発明1～4及び比較例1と、本発明5、6及び比較例2とは、炭素質材料の製造装置のアノードの組成が異なるため、本発明1～4の比較の対象は比較例1であり、本発明5、6の比較の対象は比較例2である。これら本発明1～6、比較例1、2により生成された炭素質材料を、熱重量分析装置にかけて評価した。熱重量分析(TGA分析)は、パーキンエルマー社製、Pyris 1 TGAを用いて行った。分析用試料をアルミナ製パンにセットし、毎分30 mlの流速で乾燥空気を流しながら、昇温温度を毎分 5°C として 105°C まで加熱し、この温度で1時間保持し試料中の水分を除去した。続けて昇温温度を毎分 5°C として 900°C まで加熱した。 105°C で1時間保持した後の重量を基準として、その後昇温させていったときの重量変化を評価した。炭素質材料の炭素は空気中での加熱により酸化されてしまうが、触媒金属や金属の酸化物は 900°C まで加熱した後にも残存する。加熱後の残存量は、得られた炭素質材料に含まれる触媒金属や金属酸化物の量を表している。

【0069】実験を行った結果、残存量は、本発明1が7.5 wt%、本発明2が6.4 wt%、本発明3が4.8 wt%、本発明4が20.1 wt%、比較例1が30.2 wt%であった。又、本発明5が1.3 wt%、本発明6が5.0 wt%、比較例2が11.2 wt%であった。本発明1～4と比較例1との比較においても、本発明5、6と比較例2との比較においても、残存量は本発明の方が比較例よりも少なくなっており、捕獲器23に捕獲された炭素質材料を加熱処理することにより、炭素質材料中の金属や金属酸化物が蒸発、飛散していることが分かる。又、本発明1、2、3と本発明4との比較、あるいは、本発明5と本発明6との比較を行う

と、前者では本発明4の残存量が、後者では本発明6の残存量が格段に多くなっているのが分かる。これより、真空引きした状態で、捕獲器23に捕獲された炭素質材料を加熱することにより、炭素質材料中の金属や金属酸化物の蒸発、飛散が促進され、金属や金属酸化物の除去がより効果的になることが分かる。

【0070】又、本発明1、比較例1についてラマン分光分析を行ったところ、図4、図5に示されるように、いずれについても単層カーボンナノチューブのBreathing modeによるピークが 180 cm^{-1} 付近に現れている。従って、本発明1、比較例1共に、得られた炭素質材料中に単層カーボンナノチューブが存在していることが確認できたが、図4と図5とを比較すると、図4の方が単層カーボンナノチューブのBreathing modeに対応するピークが強く現れており、本発明1では、得られた炭素質材料を加熱している間に、単層カーボンナノチューブの成長が進行していることが分かる。

【0071】一方、本発明1、比較例1共に、不純物たるアモルファス状カーボンによるDバンドが 1350 cm^{-1} 付近に現れている。図5に比べると、図4の方が、アモルファス状カーボンに対応するピーク、即ちDバンドが小さくなっている。従って、本発明1では、得られた炭素質材料を加熱したことにより、炭素質材料の乱れた結晶配向が規則的な結晶配向へと変化したことが分かる。

【0072】本発明による炭素質材料の製造方法及び製造装置は上述した実施の形態に限定されず、特許請求の範囲に記載した範囲で種々の変形や改良が可能である。例えば、本実施の形態では、触媒ガスと有機ガスとの混合ガスとしたが、He、Ar等の不活性ガスと触媒ガスとの混合ガスとしてもよく、触媒ガスと有機ガスと不活性ガスとの混合ガスとしてもよい。

【0073】又、触媒ガスとして、フェロセンを昇華させたものを用いたが、フェロセンに代えてフェロセン以外の他のメタロセン、即ち、フェロセン中のFeに代えてNiを有するニッケロセンや、Feに代えてCoを有するコバルトセン(Bis(cyclopentadienyl)cobalt)等を用いてもよく、又、これらを混合したもの、例えば、フェロセンとニッケロセンとを混合したもの等を用いてもよい。

【0074】又、アノード13、カソード14は純粋なカーボンにより構成されたが、予めFe、Ni、Co等の触媒を含有しているような材料を用いてアノードを製造する場合には、これらの触媒をカーボンロッドからわざわざ除去する必要はなく、そのまま使用してよい。

【0075】又、反応管内に供給される有機ガスとしては、メタンガス単体を用いたが、メタン、エタン、ブタン等のアルカン類のガスの単体または混合物でもよい。これらが特に好ましいが、これらに代えて、アルケン

類、アルキン類、芳香族等の有機ガスの単体又は混合物を用いることができる。

【0076】又、不活性ガスとしては、ヘリウムガスに代えてアルゴンガス、ネオンガス等を用いてもよい。

【0077】又、混合ガスの比率は、触媒ガスを50wt%としたが、4～50%の範囲内であればよい。

【0078】又、反応管11は石英により構成されたが、SUS304、SUS316、タンタル、モリブデン等により構成されてもよい。即ち、溶接可能であり、耐熱性が高く、化学的に安定であり、高周波の影響を受けない物質であればよい。又、反応管11の一部であってアーク放電部周辺の位置のみをこれらの物質で構成するようにしてもよい。

【0079】又、RFヒーター24に代えて電気炉又は赤外炉を設けて、捕獲器23に捕獲された単層カーボンナノチューブを含む炭素質材料の加熱を行ってもよい。

【0080】又、RFヒーター24による加熱をアーク放電が終了してから行ったが、アーク放電を行うのと同時に加熱してもよい。このようにすることによって、単層カーボンナノチューブ等の炭素質材料を短時間で製造することができる。

【0081】又、アーク放電が行われているときの反応管11内の気圧を66.7kPa(500Torr)としたが、約13.3～333.3kPa(100～2500Torr)の範囲内であればよい。

【0082】又、ガスを供給する供給管17を反応管11に1つだけ設けたが、図6に示されるように、複数接線方向に設けてもよい。この場合でも、供給管を、アーク放電部よりもガスの流れ方向上流側の位置に設ける。さらに、複数の種類の異なるガスを、それぞれ別個に独立して各供給管から反応管内に供給するようにして、反応管内で複数のガスを混合するようにしてもよい。又、各供給管にはそれぞれフローメータを設けて、各供給管から供給されるガスの流速をそれぞれ速度 v_1 、速度 v_2 として異なるようにすれば、反応管内で発生する混合ガスの螺旋流を強力にすることができ、第1の管で第1のガスを、第2管で第2のガスを流すといったことが可能となるので、両者の配合の制御が容易となるばかりか、反応管にガスを導入する前に第1のガスと第2のガスを混合させておくという手間を省略できる。更に、第1のガスと第2のガスとが混ざり易くなり、混合ガスの均質性を高めることができる。

【0083】又、ガスを供給する供給管17は、反応管17の周面の接線方向に延出して設けられていたが、このことに加えて、アーク放電部から捕獲器へと向かう方向に対して鋭角に延びて反応管に接続されるようにしてもよい。このようにすれば、反応管内で発生する混合ガスの螺旋流の、下流方向への流速を速くすることができる。

【0084】又、上述した混合ガスの螺旋流をより良好

に形成するために、反応管よりも径の小さい内管が、反応管内に反応管と同軸的に配置されていてもよい。この内管は、少なくとも供給管が設けられている位置に設けられる。

【0085】又、反応管11の縮径部11Eを、アーク放電部の位置から捕獲器23の直前までの位置としたが、アーク放電部の位置のみを縮径部としてもよい。

【0086】又、反応管11の一部であって捕獲器23の周辺を大径部11Gとしたが、この部分も縮径部として、縮径部11Eを右側反応管11B全体に延長するような形状にしてもよい。

【0087】又、捕獲器23に捕獲された炭素質材料の加熱を真空下で行ったが、減圧下で行ってもよく、又、真空下、減圧下以外の状態で行ってもよい。

【0088】又、反応管11のアーク放電部近傍には、アーク放電の状態を監視するための窓を設けてもよい。

【0089】又、ガスを供給する供給管17は、反応管17の周面の接線方向に延出して設けられていたが、どのような方向に延出するようにしてもよい。

【0090】又、反応管11に縮径部11Eを設けたが、縮径部を設けなくてもよい。

【0091】又、アーク放電部に触媒ガスと有機ガスとの混合ガスを供給するようにしたが、この混合ガスに代えて、不活性ガスのみを供給するようにしてもよい。但し、この場合には、アノードを、従来の炭素質材料の製造装置のアノード113と同様に、触媒を混入させた炭素電極とする必要がある。

【0092】

【発明の効果】請求項1記載の炭素質材料の製造方法によれば、雰囲気ガスがアーク放電部を通過可能な所定方向に流されるので、アーク放電部で生成された炭素質材料は所定方向に搬送され、反応管内の任意の壁面に付着することが防止され、アーク放電部の下流側の炭素質材料捕獲器で確実に回収できる。そして炭素質材料捕獲器が加熱されるので、捕獲器に付着した炭素質素材が加熱され、単層カーボンナノチューブの成長を進行させることができ、結晶性の悪い単層カーボンナノチューブを再配列させ結晶性の良い単層カーボンナノチューブとすることができ、炭素質材料中の単層カーボンナノチューブの比率を、効率よく高めることができる。

【0093】請求項2記載の炭素質材料の製造方法によれば、雰囲気ガスは触媒ガスであるため、アノードを触媒を含有させずに製造することができる。よって、従来のように粉砕カーボンと粉体状の触媒とを混合、成形、焼成、加工してアノードを製造するという手間が大幅に縮減され、これらの製造が簡単となる。

【0094】請求項3、5記載の炭素質材料の製造方法によれば、アノードは触媒を含有しない炭素系材料で構成されているので、アノードを触媒を含有しない炭素質材料のみ、例えばグラファイト棒等で製造することがで

きる。

【0095】請求項4記載の炭素質材料の製造方法によれば、雰囲気ガスは有機ガスと触媒ガスとの混合ガスであるため、アーク放電による炭素の消費が有機ガスによって補われるので、アノードの消費量が減り、長期に亘ってのアーク放電が可能となり、且つ、アノードを触媒を含有させずに製造することができる。

【0096】請求項6記載の炭素質材料の製造方法によれば、雰囲気ガスは有機ガスであるため、アーク放電による炭素の消費が有機ガスによって補われるので、アノードの消費量が減り、長期に亘ってのアーク放電が可能となる。

【0097】請求項7記載の炭素質材料の製造方法によれば、炭素質材料捕獲器の加熱を減圧下で行うので、得られた炭素質材料を大気に曝すことなく精製処理することができる。このため、捕獲器に蓄積している炭素質材料中の触媒の昇華速度を早めることができ、触媒等の不純物を酸化することなく除去することことができ、より効率的な回収が可能となる。

【0098】請求項8記載の炭素質材料の製造方法によれば、アーク放電と炭素質材料捕獲器の加熱が同時になされるので、炭素質材料の生成と、その回収が同時に実行でき、炭素質材料の製造速度を高めることができる。

【0099】請求項9記載の炭素質材料の製造方法によれば、アーク放電の際に、雰囲気ガスをアーク放電部の周囲であってアノードとカソードとを結ぶ方向に進む螺旋流にて供給するため、アーク放電部に均一にガスを供給することができ、又、アーク放電部で生成された炭素質材料を効率よく捕獲器に搬送することができる。

【0100】請求項10記載の炭素質材料の製造方法によれば、複数の種類の異なる雰囲気ガスを、それぞれ別個に独立して反応管内に供給し、反応管内で混合させて混合ガスの螺旋流としたため、複数の種類の異なるガスを予め混合する工程を省くことができる。

【0101】請求項11記載の炭素質材料の製造装置によれば、炭素質材料捕獲器の内部又は外部には、炭素質材料捕獲器を加熱するための加熱器が設けられているため、炭素質材料捕獲器が加熱されるので、捕獲器に付着した炭素質素材が加熱され、結晶性の悪い単層カーボンナノチューブを再配列し結晶性の良い単層カーボンナノチューブとすることができ、炭素質材料中の単層カーボンナノチューブの比率を、効率よく高めることができる。

【0102】請求項12記載の炭素質材料の製造装置によれば、反応管の内径は小さく構成されているため、雰囲気ガスの流れを一方向のみに限定し、反応管内の雰囲気ガスの対流を防止することができる。

【0103】請求項13記載の炭素質材料の製造装置によれば、雰囲気ガスは有機ガスと触媒ガスとの混合ガスであるため、アーク放電による炭素の消費が有機ガスに

よって補われるので、アノードの消費量が減り、長期に亘ってのアーク放電が可能となり、且つ、アノードを触媒を含有させずに製造することができる。

【0104】請求項14、16記載の炭素質材料の製造装置によれば、アノードは触媒を含有しない炭素系材料で構成されているので、アノードを触媒を含有しない炭素質材料のみ、例えばグラファイト棒等で製造することができる。

【0105】請求項15記載の炭素質材料の製造装置によれば、雰囲気ガスは触媒ガスであるため、アノードを触媒を含有させずに製造することができる。よって、従来のように粉碎カーボンと粉体状の触媒とを混合、成形、焼成、加工してアノードを製造するという手間が大幅に縮減され、これらの製造が簡単となる。

【0106】請求項17記載の炭素質材料の製造装置によれば、雰囲気ガスは有機ガスであるため、アーク放電による炭素の消費が有機ガスによって補われるので、アノードの消費量が減り、長期に亘ってのアーク放電が可能となる。

【0107】請求項18記載の炭素質材料の製造装置によれば、反応管は断面が略円形であり、ガス供給管は、反応管の略接線方向に延びて設けられ、反応管内で螺旋流を生成するため、アーク放電部で生成された炭素質材料を効率よく捕獲器に搬送することができる。

【0108】請求項19記載の炭素質材料の製造装置によれば、ガス供給管は、少なくとも第1管と第2管とにより複数設けられているので、反応管内で発生する混合ガスの螺旋流が強力となる。また、第1管で第1のガスを、第2管で第2のガスを流すので、両者の配合の制御が容易となるばかりか、反応管にガスを導入する前に第1のガスと第2のガスを混合させておくという手間を省略できる。

【0109】請求項20記載の炭素質材料の製造装置によれば、反応管内に導入された第1のガスの流速と第2のガスの流速とを異なるようにすることができるので、反応管内で発生した螺旋流において、第1のガスと第2のガスとが混ざり易くなり、混合ガスの均質性を高めることができる。

【0110】請求項21記載の炭素質材料の製造装置によれば、第1のガスは有機ガスであるため、有機ガスと他のガスとの混合を容易にすることができる。

【0111】請求項22記載の炭素質材料の製造装置によれば、第2のガスは触媒ガスであるため、触媒ガスと他のガスとの混合を容易にすることができる。

【0112】請求項23記載の炭素質材料の製造装置によれば、ガス供給管がアーク放電部から捕獲器へと向かう方向に対して鋭角に延びて反応管に接続されているた

め、反応管内で発生する混合ガスの螺旋流の、下流方向への流速が速くなる。

【0113】請求項24記載の炭素質材料の製造装置によれば、反応管内に、反応管よりも径の小さい内管が反応管と同軸的に配置され、内管は、少なくともガス供給管が接続されている位置に設けられているため、径の略均一な螺旋流とすることができ、螺旋流を強力にすることができる。

【0114】請求項25記載の炭素質材料の製造装置によれば、反応管のアーク放電部周囲の内周面断面積が、他の部位の内周断面積よりも小さい縮径部にて構成されているので、反応管内に導入されたガス流が、効率的にアーク放電部に収束でき、炭素質材料の生成を効率的に行うことが可能となる。また生成された炭素質材料が反応管内で任意方向に飛散することなく、所定方向に移動し、その回収を容易にすることができる。

【0115】請求項26記載の炭素質材料の製造装置によれば、反応管の縮径部は捕獲器の直前まで延びているので、アーク放電部で生成された炭素質材料は、捕獲器に至る途中でその運動性を失って反応管の内周面に付着する可能性を低減できる。また反応管は捕獲器直前で拡張されているので、生成された炭素質材料は、捕獲器の直前でその移動速度が低下し、捕獲器にて効率的に回収することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態による炭素質材料の製造装置を示す概略図。

【図2】本発明の実施の形態による炭素質材料の製造装置の反応管の、供給管が設けられた部分を示す概略図。

【図3】本発明の実施の形態による炭素質材料の製造装置の反応管の、縮径部を示す概略図。

【図4】本発明1のラマンスペクトルを示すグラフ。

【図5】比較例1のラマンスペクトルを示すグラフ。

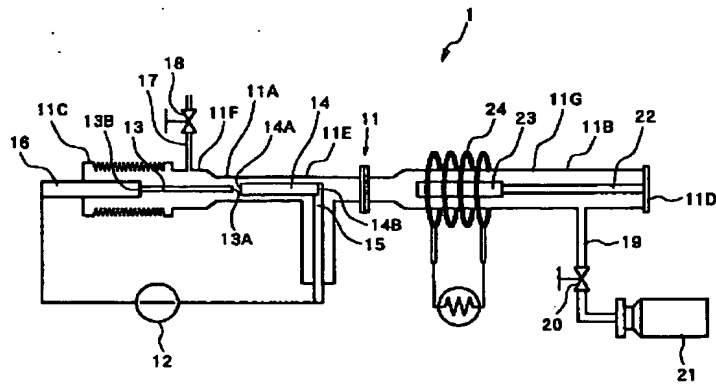
【図6】本発明の実施の形態の変形例の反応管の、供給管が設けられた部分を示す概略図。

【図7】従来の炭素質材料の製造装置を示す概略図。

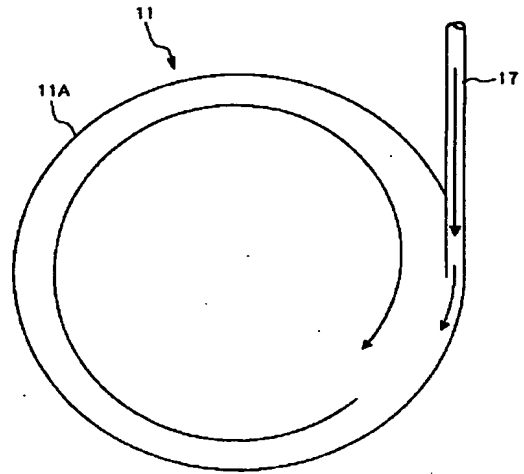
【符号の説明】

- 1 炭素質材料の製造装置
- 11 反応管
- 12 電流供給部
- 13 アノード
- 14 カソード
- 17 供給管
- 18 供給管フローメータ
- 23 捕獲器
- 24 RFヒーター

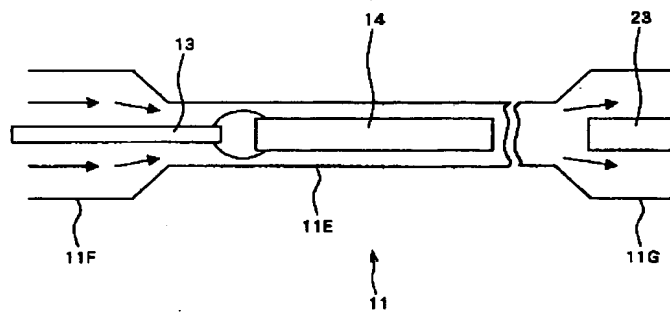
【図1】



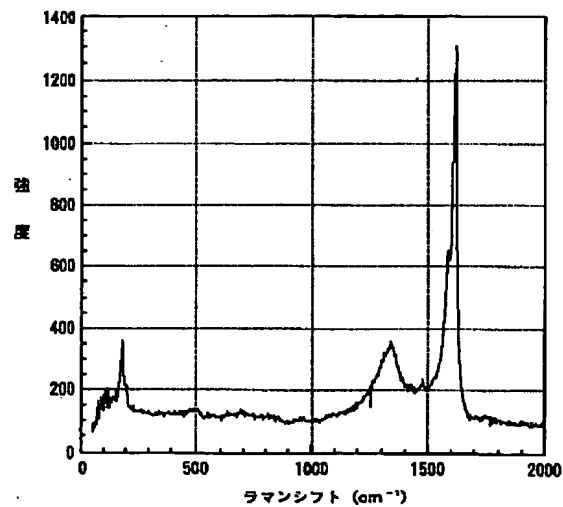
【図2】



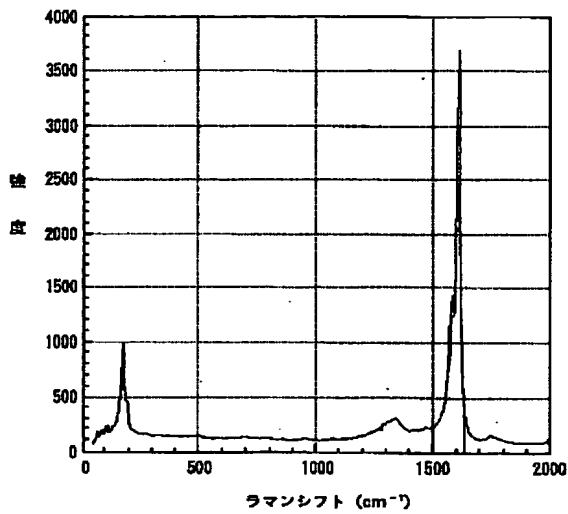
【図3】



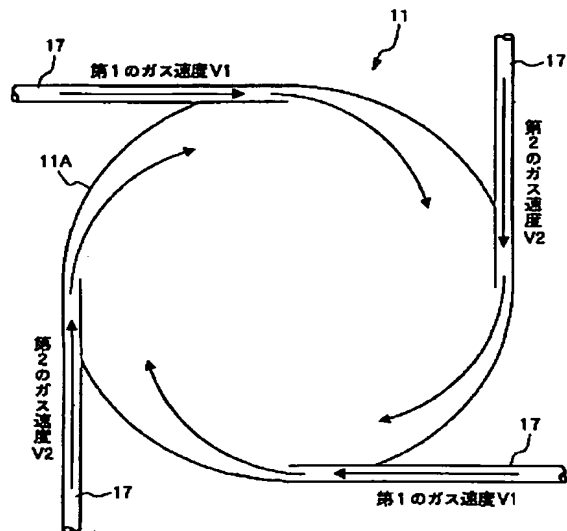
【図5】



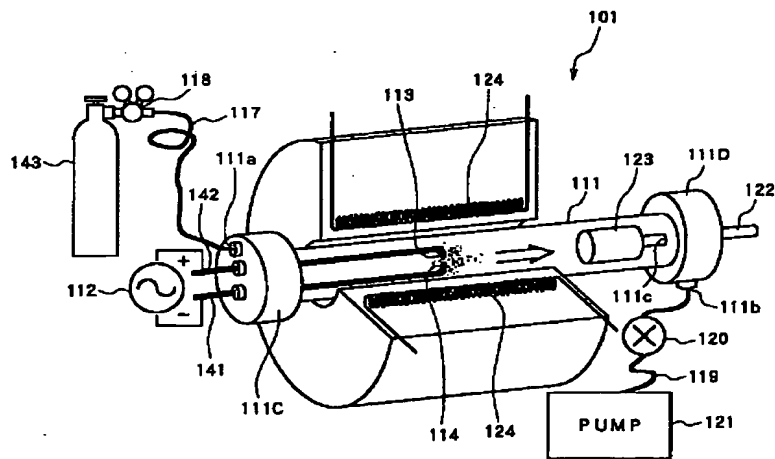
【図4】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷
 // B01D 53/22
 69/04
 71/02

識別記号
 500

FI
 B01D 53/22
 69/04
 71/02

テマコード (参考)

500

(72)発明者 宮腰 光史
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
 ー株式会社内

(72)発明者 平野 英孝
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
 ー株式会社内

Fターム(参考) 4D006 GA41 HA21 JA01C MA02
MC05 NA32 PB66
4G046 BC01 BC02 CA01 CA02 CB01
CC08 CC09 CC10
4G069 AA06 BA27B BC66B BC67B
CD10 DA01
4G075 AA24 BD14 CA15 CA17 FB03
FC02